

SHAMOL ELEKTR STANSIYALARI UCHUN KO'P QUTBLI GENERATORLARNI LOYIHALASH

Baltabayev Baxadir Z.

Urganch davlat universiteti magistratura talabasi (MSc)

Davletov I.Yu

Urganch davlat universiteti (Dtc, prof)

Navro'zbek Sapayev A.

Urganch davlat universiteti magistratura talabasi (MSc)

Annotatsiya. Ushbu maqolada shamol elektr stansiyasiga optimal bo'lgan generatorni tanlash uchun generatorlar turlarining mezoniy tahlili o'tkazilgan va natijalardan foydalanib xulosalar keltirilgan. Shamol turbinalarida ko'p qutbli sinxron generatorlardan foydalanishning afzalliklari ko'rsatilgan.

Abstract. In this article, a criterion analysis of generator types was conducted to select the optimal generator for a wind power plant, and conclusions were drawn using the results. The advantages of using multipole synchronous generators in wind turbines are shown.

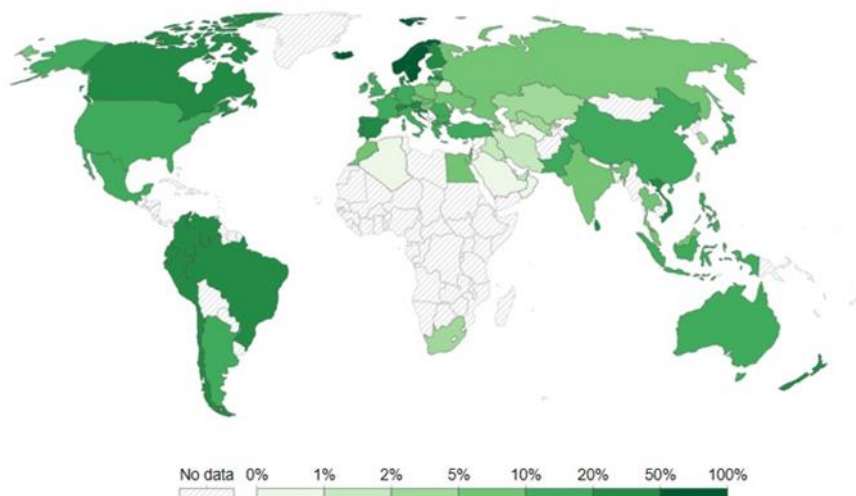
Kalit so'zlar: Shamol energiyasi, shamol tezligi, shamol turbinalarining asosiy konstruktiv sxemalari, shamol oqimi energiyasidan foydalanish koeffitsienti, asinxron generator, ko'p qutbli sinxron generator, induktorli generator.

Key words: Wind energy, wind speed, main structural schemes of wind turbines, coefficient of wind energy utilization, asynchronous generator, multi-pole synchronous generator, induction generator.

Hozirgi kunda yer yuzida aholi soning oshishi hamda sanoat ishlab chiqarishining jadal o'sishi bilan bir qatorda elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyoj ham muttasil ravishda oshib bormoqda. Bu ehtiyojni qondirish uchun, birinchidan resurslar cheklangan, ikkinchidan an'anaviy usulda energiya ishlab chiqarish atmosferaga katta zarar yetkazmoqda. Ayniqsa, global iqlim o'zgarishining eng katta omili ko'mir, neft va gaz kabi qayta tiklanmaydigan yoqilg'i turlarining qazib olinishi va qayta ishlanishi hisoblanadi. Global issiqxona gazlari chiqindisining 75 foizidan ortig'i va barcha korbonat angidrit chiqindisining qariyb 90 foizi ular hissasiga to'g'ri keladi. Shu tufayli, elektr energiyasini ishlab chiqarishda ona tabiatga zarar yetkazmaydigan "yashil" energetikadan foydalanish insoniyat oldidagi muhim vazifalardan biriga aylanib ulgurdi. Masalan, Our World in Data ma'lumotlariga ko'ra 2021 – yilda Islandiyada umumiy ishlab chiqarilgan elektr energiya 86 foizidan ortig'i qayta tiklanuvchi energiya manbalariga tog'ri kelgan, Norvegiyada esa bu ko'rsatkich 71 % ni, Shvetsiyada 50 % ni, Germaniyada 19 % ni, AQSHda 10.6 % ni, Rasiyada 6.6 % ni, yurtimizda esa bu ko'rsatkich 2.65 % ni tashkil qiladi.[1]

Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan olingan birlamchi
energiyaning ulushi, 2021

Our World
in Data



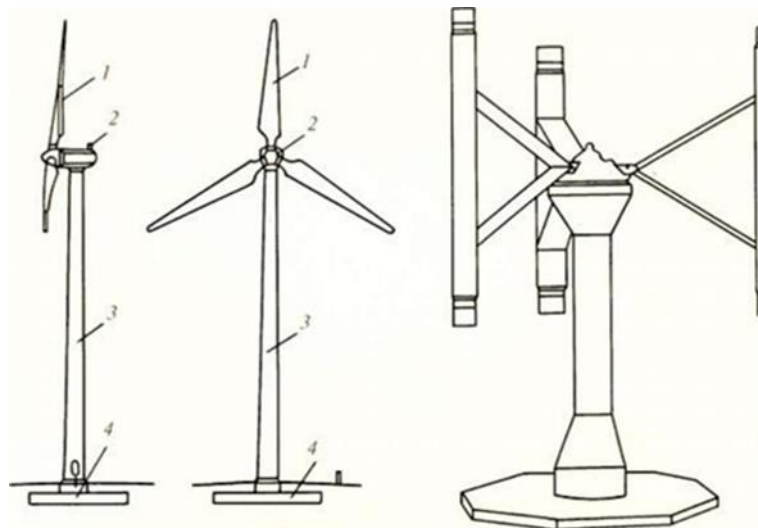
Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2022) OurWorldInData.org/energy • CC BY
Note: Primary energy is calculated using the 'substitution method', which accounts for the energy production inefficiencies of fossil fuels.

Mana shunday murakkab sharoitda tabiatga zarar yetkazmagan holda, elektr energiyasini qayta tiklanuvchi energiya manbalari hisobiga olish, tabiiy resurslarni tejash va ekologiya muvozanatini saqlash barcha davlatlar uchun muhim vazifalardan biriga aylandi. Mamlakatimizda ham ayni shu jihatlar bois, muqobil energetika imkoniyatlaridan samarali foydalanishga alohida e'tibor qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 26-maydagi "2017-2021 yillarda qayta tiklanuvchi energetikani yanada rivojlantirish, iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada energiya samaradorligini oshirish chora-tadbirlari dasturi to'g'risida"gi PQ-3012 sonli qarori hamda 2019-yil 21-maydagi "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida"gi O'RQ-539 sonli O'zbekiston Respublikasining qonuni mamlakatimizda muqobil energiya manbalarini tadqiq qilish, xalq xo'jaligida foydalanish va rivojlantirish borasidagi ishlarning huquqiy asosi bo'lib xizmat qilmoqda.[2]

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan bir bu shamol oqimi energiyasidan foydalanish hisoblanadi. Umuman olganda, shamol energetikasi iqtisodiy taraqqiyot va ekologik soflikka xizmat qilishi ayni haqiqatdir. Mamlakatimizda ham ushbu muqobil energiya manbasiga ehtiyoj bor. Bugungi kunda mamlakatning shamollar atlasini tuzilgan. Unga ko'ra shamol energiyasining yalpi imkoniyati 2,2 mln.t.n.e. deb baholanmoqda, uning texnikaviy imkoniyati esa – 0,427 mln.t.n.e.ga teng. Respublikamiz hududining 75 foizida shamol yordamida energiya hosil qilish imkoniyati mavjud emas. Bunga tekis yerlar kiradi, u yerdagi shamol oqimlari mavsumiga bog'liq. Qoraqalpog'iston Respublikasi va Toshkent viloyati shamol elektr stansiyalarini qurish uchun yaxshi sharoitlarga ega. [3]

Shamol generatorlari (shamol turbinalari) shu kunlarda ko'plab mamlakatlarda elektr energiyasining umumiy ishlab chiqarishida sezilarli ulushga ega bo'ldi. Katta quvvatli shamol turbinalaridan olinadigan 1 kVt/soat elektr energiyasining narxi issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqarilgan elektr

energiyasi narxiga yaqinlashadi [4]. Shamol turbinalarida mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantiruvchi sifatida har xil turdagi elektr mashinalari qo'llaniladi: asinxron, induktor, o'zgarmas tok va sinxron generatorlar. Har bir turning o'ziga xos afzalliklari va kamchiliklari bor. Hozirgi vaqtda eng samarali binobarin past quvvatli generatorlarning eng keng tarqalgan turi doimiy magnitlardan qo'zg'aluvchi sinxron generatorlardir. Bunga arzon narxda yuqori o'ziga xos magnit energiyaga ega bo'lgan Nd-Fe-B asosidagi doimiy magnitlarning bozorda paydo bo'lishi yordam berdi. Doimiy magnitli sinxron generatorlarning ko'p sonli konstruktiv turlari mavjud. Ularning har biri ulardan oqilona foydalanish sohalarini belgilaydigan o'ziga xos xususiyatlarga ega. Shamol turbinalari uchun eng tez-tez ishlatiladigan doimiy magnitli sinxron generatorning ishlashining o'ziga xos xususiyati shunday bo'lishi kerakki, u shamol oqimi tezligining keng doiradagi o'zgarishlarida kerakli miqdor va sifatli elektr energiyasi bilan ta'minlashi kerak. An'anaviy elektr mashinalarini, xususan, sinxron generatorlarni loyihalashda asosiy mezonlardan biri bu nominal rejimda minimal yo'qotishdir. Biroq, bunday yondashuvni kichik shamol turbinalarining generatorlari uchun ishlatish maqsadga muvofiq emas, chunki generator ishlashining ko'p qismida chastota va quvvat nominaldan ancha farq qilishi mumkin. "Nominal bo'lmagan" rejimlarda generatorning energiya samaradorligini oshirish vazifasi dolzarbligicha qolmoqda. Kichik shamol turbinalarining asosiy konstruktiv sxemalari sifatida ikkita tur qo'llaniladi: aylanish o'qi gorizontal bo'lgan shamol turbinalari (1a-chizma) va aylanish o'qi vertikal bo'lgan qurilmalar - Savonius rotori va Darrie rotori (1b-chizma).



1-chizma

*Gorizonta*l aylanish o'qi bo'lgan generator majmualari o'rta va yuqori quvvatli shamol turbinalarida keng qo'llaniladi [5,6,7,8]. Bu ularning yuqori samaradorligi bilan bog'liq. Shamol oqimi energiyasidan foydalanish koeffitsienti (SHOEFK) 100-300 kVt quvvatga ega bo'lgan qurilmalarda 30-35% ni tashkil

qiladi va yanada kata quvvatli turbinalarda murakkab elektrotexnikaviy qurilmalardan foydalanish tufayli 42-45% gacha yetishi mumkin.

Vertikal aylanish o'qi bo'lgan shamol turbinalarining SHOEFKi gorizontal o'qi bo'lgan shamol turbinalariga qaraganda biroz kichikroq. Ammo yaqinda xorijiy olimlarning shamol turbinasi qanotlarining aerodinamikasini takomillashtirish sohasidagi ishlari tufayli Darrie rotorining SHOEFK qiymatini hatto kam quvvatli qurilmalarda ham 35% ga etkazish mumkin bo'ldi [9].

Aylanish o'qi gorizontal bo'lgan qurilmalarida gondolani shamol yo'nalishi bo'yicha orientatsiya qiladigan moslamasi va generatorga uzatish uchun murakkab transmissiya va reduktorni talab qilinishi jihatidan o'rnatish juda murakkabligi va kamroq ishonchliligi va qimmat konstruksiyasini hisobga olish kerak [10]. Reduktorsiz qurilmalarda ko'p qutbli past tezlikli generatorlardan foydalanish shamol turbinasi gondolasiga og'ir va katta gabaritli elektr mashinani joylashtirish qiyinligi bilan bog'liq. Bundan tashqari, ko'p qutbli generatorning statorining katta diametri tufayli blokning faol qismining aerodinamik xususiyatlari yomonlashadi.

Chastota barqarorlashtirilmagan past tezlikda ishlaydigan dvigatellar tomonidan boshqariladigan kam quvvatli generatorning sifatini aniqlaydigan asosiy mezonlarni quyidagi tartibda shakllantirilishi mumkin:

- uzatmani hisobga olgan holda generator quvvati birligining narxi;
- massa birligiga to'g'ri keladigan solishtirma quvvat;
- nominal rejimda va aylanish chastotasi va quvvatning nominal bo'lmagan qiymatlari rejimlarida samaradorlik;
- reduktorning mavjudligi yoki yo'qligi;
- texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari;
- surma kontaktlarning mavjudligi;
- reaktiv quvvat manbaiga ehtiyoj;
- asosiy uskunani gondolda emas, balki yer yuzasida joylashtirish imkoniyati.

Generatorning optimal konstruksiyasini tanlashni asoslashda biz ko'p mezonli tizimli optimallashtirish uchun ishlab chiqilgan qarorlar to'plamidan variantlarni tanlash uchun qarorlar nazariyasiga asoslangan texnikadan foydalanamiz [11]. Taqqoslash variantlari sifatida biz masalani hal qilish uchun mos keladigan generatorlarning quyidagi turlarini ko'rib chiqamiz:

- qisqa tutashgan rotorli asinxron generator (AG) - var. 1;
- elektromagnit qo'zg'atishli sinxron generator, cho'tkasiz - var. 2;
- induktorli generatori (IG) - var. 3;
- doimiy magnitli sinxron generator (ko'paytirgich bilan yuqori tezlikda ishlovchi) - var. 4;
- doimiy magnitli sinxron generator (past tezlikda ishlovchi to'g'ridan-to'g'ri uzatmali) - var.5.

Kollektor-cho'tkalarning yuqori narxi, qisqa umri va ishonchsizligi bilan bog'liq bo'lgan taniqli kamchiliklari tufayli kollektorli o'zgarimas tok generatorlarini darhol tahlildan chiqaramiz. Xuddi shu sabablarga ko'ra, biz

hozirda deyarli ishlab chiqarilmaydigan sirpanish halqalari bo'lgan sinxron generatorlarni istisno qilamiz.

Variant 1. *Asinxron generatorlar.*

Asinxron generatorlar (AG) qisqa tutashgan rotorli asinxron mashinalarga asoslangan va bunday mashinalar o'ziga xos afzalliklarga ega [12]:

- surma kontaktlarning yo'qligi;
- rotor chulg'ami quyma "olmaxon qafasi" shaklida ishlab chiqariladi, rotorning o'zi mexanik va termal yuklarga chidamli monolit konstruksiyaga ega;
- AG ishlab chiqarish asinxron motorlarni ommaviy ishlab chiqaradigan korxonalarda amalga oshiriladi, bu ularning narxini pasaytiradi;
- AG har qanday darajadagi atrof-muhit ta'siridan himoyalangan holda ishlab chiqarilishi mumkin;

Shuningdek, AG larni generator tizimlarida keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiladigan kamchiliklarga ega:

- AG ni qo'zg'atish uchun reaktiv oqim talab qilinadi, u asinxron motorlarda bo'lgani kabi, agar generator tarmoq uchun ishlayotgan bo'lsa, reaktiv quvvatni tarmoqdan iste'mol qiladi. Avtonom yukda ishlayotganda, reaktiv quvvat manbai – kondensator bankasi yoki TIRM reaktiv quvvatni ta'minlashi kerak, bu umumiy generator quvvatining 30% dan 50% gacha reaktiv quvvat bo'lishi mumkin. Bu holda reaktiv quvvat manbalari elektr mashinasining o'z narxiga tenglashadi;
- generator vali o'zgarmas tezligida va avtonom yukda ishlaganda, chiqish kuchlanishining chastotasi va uning amplitudasi yuklama tokiga bog'liq.

Variant 2. *Elektromagnit qo'zg'atishli sinxron generator (cho'tkasiz).*

Elektromagnit qo'zg'aluvchan kontaktsiz sinxron generatorlar rotorida o'zgarmas tok chulg'amiga ega bo'lib, u o'zgaruvchan tokli qo'zg'atgich chulg'amiga elektromagnit ulangan aylanuvchi to'g'irlagich orqali quvvatlanadi. Bunday generatorlarda qo'zg'atgichni rostlash qo'zg'almas qo'zg'atgichning qo'zg'atish chulg'ami orqali amalga oshiriladi. Juda murakkab qo'zg'atish tizimini hisobga olgan holda, bunday generatorlar kamida 10 kilovatt quvvatda ishlashga mo'ljallangan.

Variant 3. *Induktorli generatori (IG).*

Hozirgi vaqtda muqobil energetikada kam quvvatli induktor generatorlaridan foydalanish tobora keng tarqalmoqda. IG maxsus konstruksiyadagi kontaktsiz sinxron generatordir [13]. An'anaviy SGda bo'lgani kabi, generator chastotasi va rotor aylanish tezligi o'rtasida qattiq bog'liqlik bor. IG tarmoq bilan parallel ravishda ishlaganda reaktiv quvvat ishlab chiqarish va avtonom yukda ishlaganda aktiv quvvatni qo'zg'atish toki orqali rostlash qobiliyatiga ega.

IG ning asosiy konstruktiv xususiyati shundaki – chulg'amsiz tishli rotor va statorda joylashgan qo'zg'atuvchi chulg'amdir. Induktor generatori konstruksiyasining soddaligi va ishonchliligi bilan ajralib turadi. IG rotori asinxron generatorning rotoriga qaraganda strukturaviy jihatdan sodd.

IG ning asosiy afzalligi aylanish tezligining magnit reduksiyasi bo'lib, u multiplikatoridan foydalanmasdan generatorning aylanish tezligini turbinaning aylanish tezligi bilan muvofiqlashtirish imkonini beradi.

Solishtirma quvvat parametri bo'yicha IG ilgari ko'rib chiqilgan barcha turdagi generatorlardan sezilarli darajada yomon. Biroq, bu turdagi mashinalar gidroturbinaga yoki shamol turbinasiga to'g'ridan-to'g'ri ulangan tishli uzatmalarda ishlatilishi mumkin, bu esa uni ushbu tahlildan chiqarib tashlashga imkon bermaydi.

Variant 5. Doimiy magnitli past tezlikli (ko'p qutbli) generatorlar.

Hozirgi vaqtda eng samarali va shuning uchun past quvvatli generatorlarning eng keng tarqalgan turi doimiy magnitlardan qo'zg'aluvchi sinxron generatorlardir. Bunga nisbatan past narxda yuqori o'ziga xos magnit energiyaga ega bo'lgan Nd-Fe-B asosidagi doimiy magnitlarning bozorda paydo bo'lishi yordam berdi. Muqobil qayta tiklanadigan energiya manbalarida foydalaniladigan generator majmualarining asosiy xususiyat shundaki, qo'zg'atuvchi gidroturbina yoki shamol g'ildiragi 100-300 ayl/daq aylanish tezligiga ega. Shuning uchun chiqish chastotasi 25-50 Hz bo'lgan generatorda kamida 6-10 juft qutb bo'lishi kerak. Elektromagnit qo'zg'alish bilan bu muammoni qabul qilinadigan o'lchamlarda hal qilib bo'lmaydi. Muqobil variant - magnitoelektrik qo'zg'atishdir.

Yuqori tezlikli generatorlarning solishtirma quvvati (massa bo'yicha) past tezlikli doimiy magnitli ko'p qutbli mashinalar va induktor generatorlarining solishtirma quvvatidan sezilarli darajada ortiq. Biroq, yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, solishtirma quvvat generatorni o'rnatish uchun yagona va ko'pincha asosiy sifat mezonni emas.

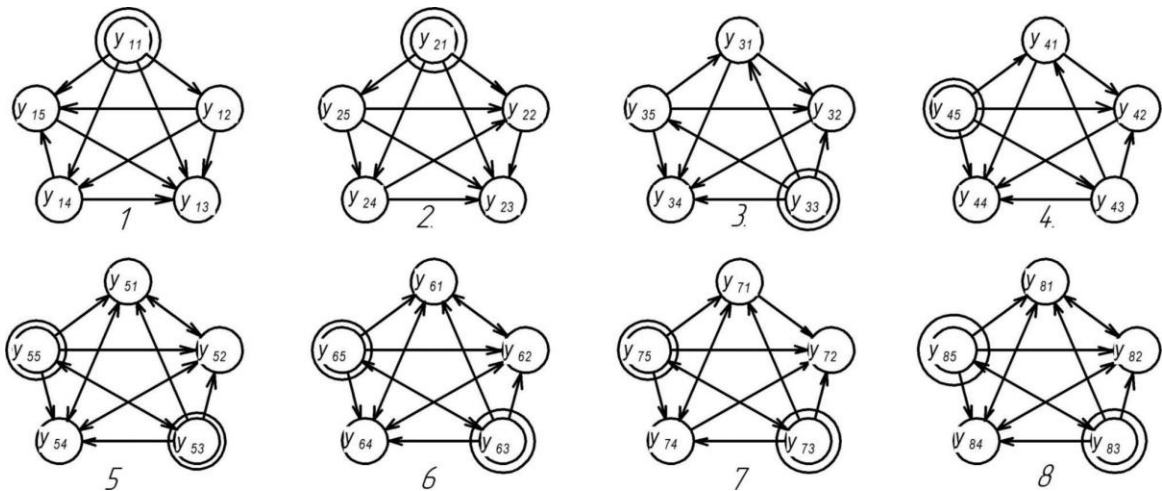
Generator parametrlarining mezon tahlili

Oldingi paragrafda ko'rib chiqilgan generatorlarning raqamli mezonlarga asoslangan holda baholash uchun Pareto to'plamini shakllantirishga asoslangan usuldan foydalanamiz. Biz ularning xususiy parametrlarini matritsa shaklida taqdim etamiz va j -variantning natijalari ustun-vektorlariga, i parametrlari esa qatorlarga mos keladi.

Generatorlarning solishtirma parametrlari matritsasi

№	Parametrlar	Var.1	Var.2	Var.3	Var.4	Var.5
		AG	EM qo'zg'atishli SG	Induktorli generator	Doimiy magnitli SG (yuqori tezlikli)	Doimiy magnitli SG (ko'p qutbli)
1	Solishtirma quvvat (o'rtacha), kVt/kg	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15
		0,105	0,089	0,0434	0,079	0,044
2	Quvvat birligi bo'yicha	Y21	Y22	Y23	Y24	Y25

	solishtirma narx, rub/kVt	12200	32300	33500	22900	19600
3	Transmissiya va multiplikatorni hisobga olganda qurilmaning FIKi, (nom. rejim) o.e.	y31	Y32	Y33	Y34	Y35
		0,836	0,816	0,923	0,791	0,85
4	Transmissiya va multiplikatorni hisobga olganda qurilmaning FIKi, (pasaytirilgan tezlik rejimi) o.e.	y41	Y42	Y43	Y44	Y45
		0,610	0,596	0,674	0,577	0,723
5	Multiplikator zarurligi	y ⁵¹	Y52	Y53	Y54	Y55
		Ha	Ha	Yo'q	Ha	Yo'q
6	Gondolda joylashtirish zarurati	Y61	Y62	Y63	Y64	Y65
		Ha	Ha	Yo'q	Ha	Yo'q
7	Xizmat ko'rsatishning murakkabligi	Y71	Y72	Y73	Y74	Y75
		Yo'q, reduktordan tashqari	Ha	Yo'q	Yo'q, reduktordan tashqari	Yo'q
8	Vertikal aylanish o'qi bo'lgan shamol turbinasida foydalanish imkoniyati	y81	Y82	Y83	Y84	Y85
		Muammoli	Muammoli	Ha	Muammoli	Ha
	Umumiy samaradorlik mezoni, Y, o.e.	13	6	19	4	22



2-chizma. Har xil turdagi generatorlarning sifat parametrlari uchun afzal qilingan natijalarning grafiklari

Chiquvchi vektorlar bilan grafikning barcha boshqa uchlari bilan bog'langan cho'qqining mavjudligi eng yaxshi elementga mos keladi. Bunday holda, ekvivalent natijalarga mos keladigan boshqa qo'shimcha ulanishlar, shu jumladan ikki tomonlama strelkalar bo'lishi mumkin. 2-chizmada i taqqoslash parametri

bo'yicha eng yaxshi integral natijalarga ega bo'lgan grafiklarning uchlari qo'sh doiralar bilan ko'rsatilgan. O'rganilayotgan holatda "kelib chiqishi" soni bo'yicha eng yuqori reyting va natijada umumlashtirilgan samaradorlik parametri bo'yicha $Y5 = 22$ ball 5-variantga, 3-variant $Y3 = 19$ ball, 1-variant $Y1 = 13$ ball, mos ravishda 2 va 4-sonli variantlarga $Y2 = 6$ ball va $Y4 = 4$ ball berildi. Shunday qilib, Pareto ustunlik printsipligiga asoslangan ko'p mezonli tizimli tahlil shamol turbinalari va boshqa muqobil elektr manbalari uchun mo'ljallangan kam quvvatli generatorlarning o'rganilgan turlaridan doimiy magnitlardan qo'zg'aluvchi ko'p qutbli sinxron generatorga ustunlik qildi (5-variant).

Foydalanilgan adabiyotlar

1. <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
2. <https://lex.uz/docs/-3221894>
3. "QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARI" S.Q. QAHHOROV, H.O. JO'RAYEV, Y.Y. JAMILOV, N.M. HAMDAMOVA
4. Lema, Adrian and Kristian Ruby, «Between fragmented authoritarianism and policy coordination: Creating a Chinese market for wind energy», Energy Policy, Vol. 35, Issue 7, July 2007
5. Bernard Chabot, With a Focus on the Contribution From Renewables and on CO2 Emissions. Analysis of the Global Electricity Production up to 2014. – elektron manba. URL: <http://cf01.erneuerbareenergien.schluetersche.de>
6. GSR2015_Onlinebook_low1.2015. – elektron manba. URL: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12_GSR2015_Onlinebook_low1.pdf
7. Lema, Adrian and Kristian Ruby, «Between fragmented authoritarianism and policy coordination: Creating a Chinese market for wind energy», Energy Policy, Vol. 35, Issue 7, July 2007
8. Renewableenergyworld – elektron manba. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-13/issue-4/wind-power/btm-wind-market-report.html>
9. Горелов Д.Н. Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор). Тепло физика и аэромеханика, 2010, том 17, №3.
10. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990
11. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ - Петербург, 2005.
12. Телегин В.В. Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения предприятий ограниченной мощности с использованием альтернативных источников энергии. Дисс. на соискание уч. степени кандидата тех-х наук. Липецк, 2014,
13. Тан Тхун Аунг. Исследование и разработка индукторного гидрогенератора. Дисс. на соискание уч. ст. канд. техн-х наук. ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». М.: 2014;